

ECHONET Lite と電動ブラインドを用いた一般家庭用側窓採光システム Side-window lighting systems for living environments in residences using motorized blind and ECHONET Lite

坂本 優大[†] 三栖 貴行[†] 一色 正男[†] 堀 優樹[‡] 今吉 秀幸[‡]
Masahiro Sakamoto Takayuki Misu Masao Isshiki Yuki Hori Hideyuki Imayoshi

1. はじめに

太陽光はサーカディアンリズムの調整や知的生産性の向上が見込めることが判明している。側窓採光されたオフィスと採光されていないオフィスでは前者の方が質の良い睡眠が可能とされている[1]。近年、太陽光を採光するための構造建築の研究が行われている[2]。しかしながら、太陽光の照射は季節や場所により様々に変化するため、構造建築のみで安定した採光、また既存住宅での新たな照明環境の構築は困難である。そこで、電動ブラインドの自動制御による側窓採光システムの研究・開発が行われている[3][4]。一般家庭に電動ブラインドを実装する場合は、室内外の照度や輝度を測定するデバイスは設置位置が限定され容易でない、セットアップに手間がかかるなどの問題点がある。本研究では照度センサ設置やセットアップが比較的容易な一般家庭用側窓採光システムを検討したので報告する。

2. ECHONET Lite と電動ブラインドを用いた一般家庭用側窓採光システムの構築

ECHONET Lite 対応家電製品のコントローラは Android 端末とした。使用する家電製品は電動ブラインドおよび LED 照明である。電動ブラインドは太陽光を採光し、室内の明るさを調節する。夜間や曇天時等の採光量に限りがある場合は LED 照明を利用して室内の明るさを調節する。製作した Android 端末内の専用アプリケーションを起動し、自動制御メニューから勉強・くつろぎモードを選択すると、電動ブラインドと LED 照明を自動制御し、室内を最適な照度に調整できる。

室内の照度測定には、浜松ホトニクス株式会社製照度センサ(S1787-04)を使用した。照度センサは、無線ワイヤレスモジュール(東京コスモス電機株式会社製 TWE-Lite)のアナログ入力に接続した。照度センサの出力電流は抵抗器 3.3[k Ω]を介して電圧に変換し、アナログ入力部の AD コンバータ(10bit)に入力する。室内に照度センサを設置し、センサ情報をサーバ PC に 1 秒間隔で送信し、収集する。無線ワイヤレスモジュールには無線センサタグをインストールしている。サーバ PC には Zig-Bee 規格通信可能な dongle (ToCoStick) を USB 接続し、ToCoStick サーバ PC 間でシリアル通信させてセンサ情報を得る。サーバ PC には Processing で作成したアプリケーションを用いる。これは照度センサから取得した文字列を ECHONET Lite パケットに変換し、他 ECHONET Lite 機器との通信を可能にする。サーバ PC は ECHONET Lite 対応照度センサクラスとして IP 上に存在する。センサ子機は電池駆動か無線通信が可能である。

[†] 神奈川工科大学 Kanagawa Institute of Technology

[‡] 株式会社ニチペイ Nichibe Co., Ltd.

3. 側窓採光時の明るさに関する官能評価実験

電動ブラインドを用いた一般家庭用側窓採光システムシステムを構築するため、一般的な住宅の部屋構造に模した環境で机上面と室内の照度を測定した。測定した結果、室内は窓面周辺に対し比較的暗く感じるが、机上面照度を測定した結果、10000[lx]以上の照度であった。JIS 規格の住宅における読書や勉強での最適照度は机上面照度として 500~1000[lx]を推奨照度と定めている。本研究で目指す太陽光を積極的に取り入れる側窓採光システムの構築には JIS 照度基準に代わる明るさ評価指標が必要と考えられる。したがって最適な明るさを算出するために官能評価実験を行った。

明るさに関する官能評価実験を行うために白壁の照度試験室(2500×1800×2000mm)を構築した。実験室の学習机には机上面中心部から窓面まで 1.5m の距離に設置した。照度計は机上面の 4 隅に設置し、机上面照度分布を測定する。机から直上の天井面に照度計を 1 台設置し、窓面には鉛直面、水平面に各 1 台照度計を設置し、室外照度を測定する。

アンケートの評価項目は明視性・空間評価とし、明視性評価は「部屋の明るさ」、「紙面の明るさ」、「文字の読みやすさ」、「窓の明るさ」とした。また、空間評価は「開放感を感じる」、「部屋が心地よいと感じる」とした。「紙面の明るさ」および「文字の読みやすさ」は机上面中心に設置した紙を被験者が目視し評価する。文字サイズは 10pt、言語は日本語と英語の 2 言語とした。

4. 側窓採光時の明るさに関する官能評価実験結果

天井面・机上面照度が 1000-3000[lx]のときの、「紙面の明るさ」の評価'3'(ちょうどいい)、評価'4'・'5'(明るく見づらい)をプロットしたグラフを図 1 に示す。この結果から机上面照度および天井面照度が 1000~3000[lx]のとき、天井面照度が机上面照度を上回ったときに「部屋の明るさ」、「紙面の明るさ」や「文字の読みやすさ」が丁度良い評価となった。部屋の明るさを重視する場合と勉強や読書など机上の明るさを重視する場合はともに天井面照度が 1900[lx]、机上面照度が 1750[lx]であった。

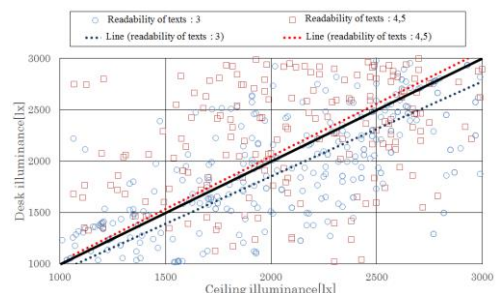


図 1 天井面・机上面照度が 1000-3000[lx]のとき「紙面の明るさ」'3'、'4'・'5'の評価プロット

5. ECHONET Lite と電動ブラインドを用いた一般家庭用側窓採光の明るさ調整システム

宅内作業(特に勉強・読書)時の最適な机上面照度 1750lx を目標照度とした。これらのパラメータを明るさ調整システムに組み込む。

本システムは使用前にキャリブレーションを行い制御の正確性を確保する。電動ブラインドのスラット角度を 0 度およびそのときの日射遮蔽角度に調節し、それぞれの屋外照度、屋内の机上面および天井面の照度を計測する。スラット角度が 0 度のときの屋外照度を E_{out0} 、屋内の机上面および天井面の照度の平均を E_{in0} とすると、照度比 E_{r0} は式(1)となる。また、スラット角度が日射遮蔽角度のときの屋外照度を E_{outs} 、屋内の机上面および天井面の照度の平均を E_{ins} とすると、 E_{outs} と E_{ins} の照度比 E_{rs} は式(2)となる。

$$E_{r0} = E_{in0}/E_{out0} \dots (1)$$

$$E_{rs} = E_{ins}/E_{outs} \dots (2)$$

図 2 に最適照度とスラット角の関係を示す。横軸をスラット角度、縦軸を屋外照度と屋内照度(机上面、天井面の平均)の照度比とする。最適明るさ感にするための照度比を y_0 、目標スラット角度を x_0 、切片を E_{r0} とする。これらの関係を式で示すと以下の式(3)のように表せる。

$$y_0 = a_0 x_0 + E_{r0} \dots (3)$$

また y_0 は、最適な机上面照度(1750lx)と制御時の野外照度の関係として式(4)のように示せる。

$$y_0 = 1750/E_{ocur} \dots (4)$$

このとき傾き a_0 は、キャリブレーション時の日射遮蔽角度を A_{cal} とすると式(5)で表せる。

$$a_0 = (|E_{rs} - E_{r0}|)/A_{cal} \dots (5)$$

すなわち、最適明るさ感にするための最適スラット角度 x_0 は式(6)となる。

$$x_0 = (|1750/E_{ocur} - E_{r0}|)/((|E_{rs} - E_{r0}|)/A_{cal}) \dots (6)$$

システム起動から 2 回目以降の制御は正確性を確保するため初回起動時と異なる計算を行う。最適明るさ感にするための照度比を y_n 、目標スラット角度を x_n とすると式(7)ようになる。また y_n は式(4)と同様に式(8)で表す。

$$y_n = a_n x_n + E_{r0} \dots (7)$$

$$y_n = 1750/E_{ocur} \dots (8)$$

このとき傾き a_n は、直前に制御したときの決定スラット角度を A_{pre} 、現在の日射遮蔽角度 A_{cur} 、直前に制御したときの照度比を E_{pre} 、現在の照度比を E_{cur} とすると式(9)と表せる。

$$a_n = (|E_{pre} - E_{cur}|)/(|A_{cur} - A_{pre}|) \dots (9)$$

すなわち、最適明るさ感にするための最適スラット角度 x_n は式(10)となる。

$$x_n = (|1750/E_{ocur} - E_{r0}|)/((|E_{pre} - E_{cur}|)/|A_{cur} - A_{pre}|) \dots (10)$$

スラット角度と連動させる一般照明制御の制御フローを図 3 に示す。明るさ調整システムを起動後ユーザーは初回の動作で最適スラット角度を決定する。電動ブラインドの最適スラット角度がそのときの日射遮蔽角度を上回っていれば、日射遮蔽角度に設定される。電動ブラインドのスラット角度が設定時に最適スラット角度が日射遮蔽角度を上回っていなければ最適スラット角に調節する。その後、屋内の照度を計測し、天井面照度と机上面照度の平均値が 750lx を下回っている場合は一般照明の ON 制御を行う。

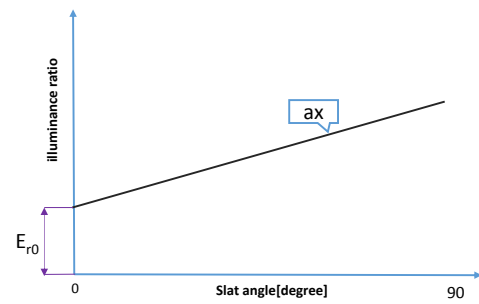


図 2 最適照度とスラット角の関係

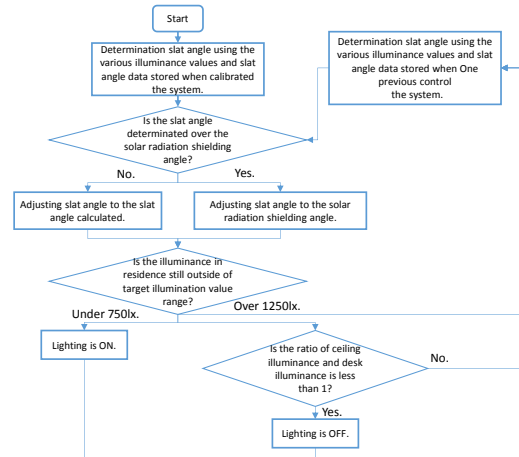


図 3 最適スラット角度設定・一般照明制御フロー

1250[lx]を超えている場合は、天井面照度と机上面照度の比が 1 未満のとき一般照明が ON 状態であれば OFF 制御を行う。起動後 2 回目以降の制御では、最適スラット角度決定に直前に計測した屋内外照度と最適スラット角度値を用いて決定する。

6. まとめ

ECHONET Lite と電動ブラインドを用いた一般家庭用側窓採光システムを作製し、以下の結果が得られた。

- ・ 測定環境内で照度測定実験および官能評価実験を実施した。
- ・ 官能評価実験により宅内の最適明るさ感指標を作成した。
- ・ 宅内の最適明るさ感指標を明るさ調整システムの電動ブラインドおよび一般照明の制御アルゴリズムに組み込んだ。

参考文献

- [1] Mohamed Boubekri, Ivy N. Cheung, Kathryn J. Reid, Chia-Hui Wang, Phyllis C. Zee, F.A.A.S.M., "Impact of Windows and Daylight Exposure on Overall Health and Sleep Quality of Office Workers: A Case-Control Pilot Study" *Journal of Clinical Sleep Medicine*, Vol.10, No.6, pp.603-611, (2014)
- [2] K. Honma, S. Honma, and T. Wada, "Phase-dependent shift of free running human circadian rhythms in response to a single bright light pulse," *Experientia*, Vol.43, pp.1205-1207, (1987)
- [3] 谷口 智子, 岩田 利枝, 伊藤 大輔, "窓周辺遮蔽物を考慮した不快グレア指標 PGSV に基づく自動ブラインド制御に関する研究", *照明学会誌*, Vol.98, No.5, pp.211-217, (2014).
- [4] 大林組株式会社, "快適な視環境と省エネルギーを両立する『自動ブラインド制御システム』を開発", http://www.obayashi.co.jp/press/news20150327_1